

基于零树结构的遗传水印算法

姜凤利 赵晓颖

(辽宁石油化工大学理学院, 抚顺 113001)

摘 要 提出了一种基于零树的小波水印方案。该方案首先利用 Haar 函数在小波域执行水印, 然后运用遗传算法在某个小波系数上恰当选择零树进行水印嵌入, 并通过控制迭代次数和嵌入强度保证水印的特性。仿真结果表明该算法得到的图像水印具有良好的不可见性, 同时也保证水印图像在常规的攻击下提取出的水印具有鲁棒性。

关键词 零树 小波变换 Haar 函数 遗传算法

中图法分类号 TP391.41; **文献标志码** A

为了满足互联网发展的需求, 水印技术在过去的几年中得到了广泛的关注, 它的目的是为了维护版权、仲裁和认证。数字水印是把额外的信息嵌入到某个保护对象中的一种技术。在设计有效的水印算法时, 会有一些要求和限制, 其中三个最基本的要求是: (i) 水印的隐蔽性和水印图像的质量; (ii) 水印的鲁棒性, 或称之为抵御恶意地对图像进行处理的能力; (iii) 水印的容量或者嵌入的比特数。但实际上水印算法的这三个要求是相互冲突的, 因此为了确保水印的合理性, 许多研究人员提出了把水印比特嵌入到变换系数的“中间频段”的方法^[1,3]。但此时对水印图像进行常规操作时, 很容易导致水印信息的丢失。

本文考虑水印的上述各种要求, 设计了一种基于小波变换的水印方案, 该方案利用遗传算法 (GA) 选择适当的零树系数嵌入水印, 并人为设定迭代次数和嵌入强度, 以保证嵌入水印的隐蔽性和在受常规攻击下水印的鲁棒性都能得到满足。仿真结果证明了所提出方案的有效性。

1 小波变换和零树

小波变换是以某种特定初等函数为基础对数据进行处理的一种方法。通过小波变换, 可以从不同方面检测出某个信号并且获得有价值的信息。本文利用 Haar 函数对载体图像进行三级 DWT 分解, 在小波域连续分解等级之间的系数中, 存在一种固有的父子关系。正如图 1 所示, 这些不同等级的标记系数形成一个四叉树^[2]。在一个四叉树中, 如果所有的系数值低于某个特定的阈值, 那么这个四叉树就被定义为一个零树^[4]。在某种意义上, 一个零树代表初始图像的一个不太显著的可视区域, 因此, 它就成了一个优秀的水印嵌入候选方案。

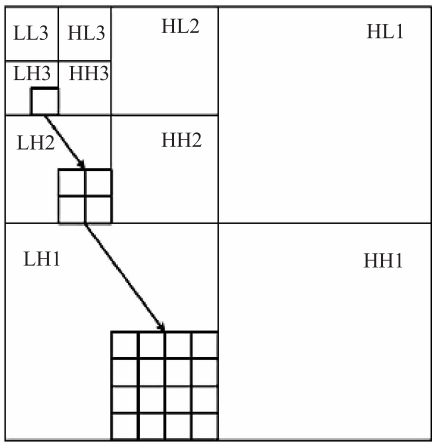


图1 小波变换域的一个零树结构

2011年3月4日收到 辽宁省教育厅高校科研项目(2004F100)资助
第一作者简介:姜凤利(1980—),男,辽宁大连市人,讲师。研究方向:信息安全、图像处理等。

2 水印的嵌入与提取

2.1 水印的嵌入

令输入图像 X 的大小为 $M \times N$, 要嵌入的二值水印为 $W_{N \times N}(i, j) (1 \leq i, j \leq N)$, 容量大小为 $M_w \times N_w$ 比特。

Step1: 将二值水印图像 $W_{N \times N}(i, j) (1 \leq i, j \leq N)$ 利用 Arnold 变换进行 T 次置乱^[5]。

Step2: 将输入的图像 X 分成 8×8 块 b_{ij} , $X = \bigcup_{j=1}^{N/8} \{b_{ij}\}$ 。

对每个块 $b_{ij} (1 \leq i \leq \frac{M}{8}, 1 \leq j \leq \frac{N}{8})$ 实行离散小波变换(DWT)。

即 $W_{i,j}(k) = DWT(b_{i,j})$, 其中 k 为小波域的频率系数。

对于任意一块 b_{ij} , 先从 $W_{i,j}(k)$ 的所有小波变换系数中计算出最小值 $M_{i,j} = \min(W_{i,j}(k))$, 然后选择一个加权因子 α 确定阈值 $T_{i,j} = \alpha M_{i,j}$, 为了给阈值一个初始值, 设 $\alpha = 1.5$ 。

Step3: 利用 Step2 中确定的阈值, 选定零树。将图像转化成一个 $M \times N$ 二值矩阵:

$$A = \bigcup_{i=1}^{M/8} \bigcup_{j=1}^{N/8} \bigcup_{p=1}^8 \bigcup_{q=1}^8 \{A_{8(i-1)+p, 8(j-1)+q}\}, \text{ 其中}$$

$$A_{p,q} = \begin{cases} -1, & \text{若 } W_{i,j}(k) < T_{i,j} \\ 1, & \text{若 } W_{i,j}(k) \geq T_{i,j} \end{cases}$$

在 A 矩阵的基础上选择零树。根据零树的数量与水印容量比较的结果, 对加权因子 α 进行适当的调整。如果零树的数量小于水印容量, 那么阈值就可能增加, 否则就可能降低。

阈值 $T_{i,j}$ 调整方法:

$$T_{i,j} \leftarrow \begin{cases} 1.5 T_{i,j}, & \text{若产生大量的零树} \\ 0.5 T_{i,j}, & \text{否则。} \end{cases}$$

这个过程被反复进行, 直到满足要求为止。

Step4: 为了水印的嵌入, 我们采用系数值的直接取代, 并设定一个水印嵌入强度 Q 。

(1) 如果嵌入的比特是 -1 , 则用值 $-Q$ 来替代现有的零树。

(2) 如果嵌入的比特是 1 , 则用值 Q 来替代现有的零树。

水印嵌入强度 Q 平衡水印的不可见性和鲁棒性。

Step5: 水印嵌入之后, 进行离散小波逆变换, 得到一个新的水印图像 X' 。

2.2 水印的提取

Step1: 将水印图像 X' 按上述方法进行变换选择零树, 并按嵌入强度 Q 来判断嵌入的比特。

(1) 如果零树所对应值为 $-Q$, 则嵌入的比特是 -1 。

(2) 如果零树所对应值为 Q , 则嵌入的比特是 1 。

Step2: 进行反置乱处理, 得到水印图像。

3 遗传零树的选择

遗传算法(GA) 是 1975 发展起来的一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法, 该方法在许多研究领域里已得到广泛应用。GA 是通过编码组成初始群体后, 对群体的个体采用适度函数进行衡量并施加一定的操作, 将适应值较高的个体以较高的概率被选中, 从而实现优胜劣汰的进化过程。从优化搜索的角度而言, 遗传操作可使问题的解, 一代又一代地优化, 直至逼近最优解。

在一个优秀的水印算法中, 提取水印的相似度(NC)与图像峰值信噪比(PSNR)通常作为水印鲁棒性与不可见性的评价标准。但二者又恰恰是相互矛盾的, 如何兼顾二者的平衡性即为水印嵌入的多目标优化问题。文中利用 GA 全局搜索水印的嵌入强度 Q 以及置乱次数 T , 使得相似度(NC)和图像峰值信噪比(PSNR)达到全局优化。算法描述如下:

(1) 编码: 将载体图像分为 8×8 块, 对每块作小波变换, 获取它们的小波系数。通过阈值 $T_{i,j}$ 判断一个块包含了多少个零树, 并对其进行二进制字符串编码, 每条染色体都是一个长度为 $4 \times M_w \times N_w$ 的字符串。每一比特都反应了相应候选零树的选择状况。

(2) 适应函数:为了对染色体上已编码的零树分布作隐蔽性和鲁棒性估计,构造适应函数,以此评价染色体的好坏。定义如下:

$$f = \lambda \cdot PSNR(T,Q) + \frac{\lambda_i}{n} \sum_{i=1}^n NC_i(T,Q)。$$

其中: λ, λ_i 为 $PSNR$ 和 NC_i 的加权值,且二者满足 $\lambda + \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1。$

(3) 选择、交叉和变异:在系统中采用基于排序的选择方法(秩基础的选择),选定概率为 $P_s=0.2$,也就是说那些在所有个体中排前 20% 以内的,或者 20% 中有较大适应值的,都可以用于下一次迭代。遗传过程中除最佳染色体外,所有其他的染色体遭受突变,并在一个小的突变概率 P_m 下产生一个新结果。在仿真实验中,设 $P_m=0.5$,这就意味着在染色体上,5% 的比特是被随机选择和特意放置的。

(4) 算法终止:算法以指定遗传迭代次数和种群最高适应值不再发生变化为终止准则。

峰值信噪比 ($PSNR$) 和归一化相关系数 (NC)^[6,7] 定义如下:

峰值信噪比为:

$$PSNR = 10\lg_{10}\left(\frac{255 \times 255}{\sum_i \sum_j (X - X')^2}\right)。$$

归一化相关为:

$$NC(W^*, W) = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} w(i,j)w^*(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} w^2(i,j)} \sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} w^{*2}(i,j)}}。$$

4 实验结果及分析

在仿真过程中,将大小为 $512 \times 512 \times 8$ bit 的公开测试图像“Barbara”作为初始图像。嵌入的水印大小为 32×32 ,水印容量的大小为 1024 比特。利用遗传算法经过 150 次迭代训练,设定加权因子 $\lambda=0.022, \lambda_i=0.326 (i=1,2,3)$,嵌入强度为 $Q=10。$

引用三组实验去测试水印在剪切攻击、低通滤波攻击和高斯噪声攻击下的鲁棒性。并依据峰值

信噪比、归一化相关性对水印图像进行定量分析,评价算法的优良性。结果见图 2 及表 1。



图 2 剪切、中值滤波、加噪处理的图像及提取出的水印

表 1 对含水印图像攻击的实验结果					
攻击方法	剪切中心图像	低通滤波	高斯噪声	图像旋转	缩小图像
PSNR	36.537	32.912	33.815	34.256	33.493
NC	0.958	0.836	0.905	0.913	0.872

另外,对水印图像进行常见的 JPEG 压缩操作后提取部分水印图像与分析结果见图 3 及表 2:



图 3 不同强度 JPEG 压缩后提取的水印图像

表 2 抵抗 JPEG 有损压缩攻击的实验结果

压缩 强度	90	75	60	50	30	25	15
PSNR	37.589	36.135	35.187	34.680	33.481	33.005	31.382
NC	0.998	0.975	0.946	0.915	0.892	0.827	0.769

根据实验结果分析,由该算法实现水印嵌入后,不仅较好地保持水印图像的质量,而且对于某些常见的图像处理操作具有较强的适应性,实现了水印的不可见性和鲁棒性的二者优化目标。

5 结论

本文提出了一种基于零树图像水印的最优化方案。该方案应用遗传算法,寻找水印质量和良好鲁棒性两者的最优化平衡点,并通过控制迭代次数和嵌入水印的强度来实现水印的嵌入。实验结果表明,把最优化技术运用到水印算法中,在设计和水印系统的执行与应用上是可行的和有效的。因

此该算法是一个较为实用的水印算法。

参 考 文 献

1 Naformita C, Borda M, Kane A. A wavelet-based digital watermarking using subband-adaptive thresholding for still images. MicroCAD 2004 International Scientific Conference. University of Miskolc, 2004: 87—92

2 陈节龙,杨 静. 改进的嵌入式小波零树编码算法. 计算机工程, 2010;36(2):209—213

3 Chang F C, Huang H C., Hang H M. Layered access control schemes on watermarked scalable media. J VLSI Signal Process Syst Signal Image Video Technol, 2007; 49(3): 443—455

4 鲍 政,张建伟,夏德深,等. 基于小波零树的图像自适应水印算法. 计算机工程与应用,2006;32(2):72—76

5 丁 玮,阎伟齐,齐东旭. 基于 Arnold 变换的数字图像置乱技术. 计算机辅助设计与图形学学报,2001;13(4):338—341

6 王向阳,扬红颖. 基于多阈值与嵌入零树小波的图像压缩算法. 通信学报, 2001;22(12):35—40

7 饶智坚,常建平. 基于小波零树结构的图像水印算法研究. 计算机应用,2006;1(2):24—28

A Genetic Watermarking Wavelet Algorithm Based on Zerotree Structure

JIANG Feng-li,ZHAO Xiao-ying

(School of Science, Liaoning University of Petroleum & Chemical Technology, Fushun 113001, P. R. China)

[Abstract] A watermarking wavelet algorithm based on zerotree structure is proposed . It is carried on in wavelet domain by applying Haar function. And then, basing on the wavelet coefficients, zerotree is selected appropriately by using genetic algorithm to implement the embedding of watermark, which meanwhile guarantees the characteristics of watermark by controlling the number of iteration and the embedding strength. The simulation results indicate that the image watermarking obtained by the proposed algorithm has perfect invisibility and is robust to some common attacks at the same time.

[Key words] zerotree wavelet transform harr function genetic algorithm